

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19)世界知的所有権機関
国際事務局



(43)国際公開日
2003年5月8日 (08.05.2003)

PCT

(10)国際公開番号
WO 03/038845 A1

(51)国際特許分類:

H01F 41/02

CO., LTD.) [JP/JP]; 〒541-0041 大阪府 大阪市 中央区
北浜四丁目 7 番 19 号 Osaka (JP).

(21)国際出願番号:

PCT/JP02/10861

(72)発明者; および

(22)国際出願日: 2002年10月18日 (18.10.2002)

(75)発明者/出願人 (米国についてのみ): 三野 修
嗣 (MINO,Shuji) [JP/JP]; 〒565-0802 大阪府 吹
田市 青葉丘南 8-0-505 Osaka (JP). 中本 登
(NAKAMOTO,Noboru) [JP/JP]; 〒614-8375 京都府 八
幡市 男山弓岡 4-208-303 Kyoto (JP).

(25)国際出願の言語:

日本語

(26)国際公開の言語:

日本語

(74)代理人: 奥田 誠司 (OKUDA,Seiji); 〒540-0038 大阪府
大阪市 中央区内淡路町一丁目 3 番 6 号 片岡ビル 2 階
奥田国際特許事務所 Osaka (JP).

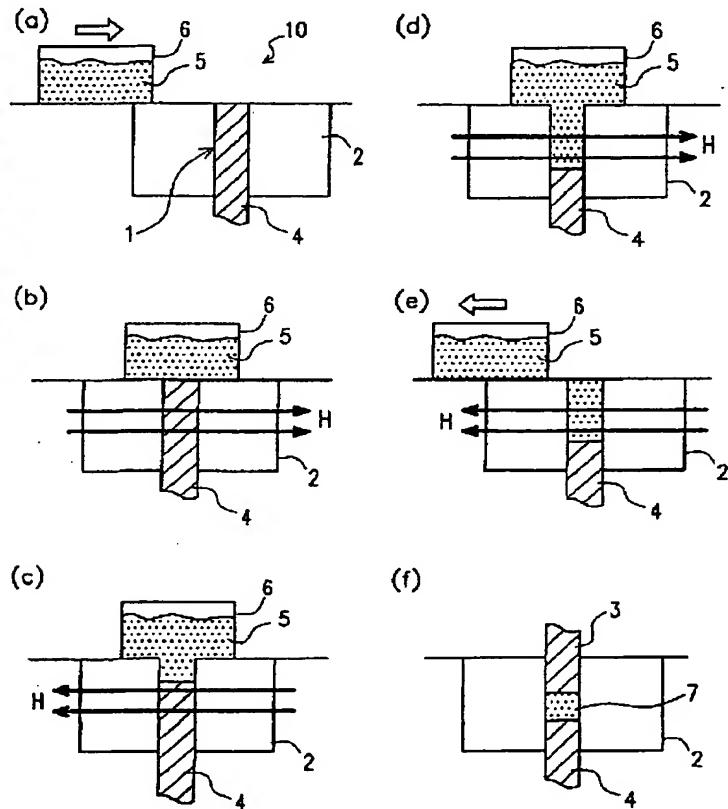
(30)優先権データ:
特願2001-335510
2001年10月31日 (31.10.2001) JP

(81)指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB,
BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,

(続葉有)

(54) Title: PERMANENT MAGNET MANUFACTURING METHOD AND PRESS APPARATUS

(54)発明の名称: 永久磁石の製造方法およびプレス装置



(57) Abstract: An anisotropic bond magnet is manufactured at a low cost while evading the problem caused by residual magnetization. Moreover, it is possible to reliably supply magnetic powder into a cavity of shape into which the magnetic powder cannot be easily supplied, thereby improving density of a molded body. Magnetic powder (HDDR powder) is supplied into a cavity of a press apparatus for molding an anisotropic bond magnet. After the magnetic powder is arranged outside the cavity, oscillation magnetic field (such as AC magnetic field) is formed in the space including the cavity. The magnetic powder is moved into the interior of the cavity while being orientated to a direction parallel to the oscillation direction of the oscillation magnetic field. After this, the magnetic powder is pressed in the cavity so as to obtain a molded body (anisotropic bond magnet).

WO 03/038845 A1

(続葉有)



DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 國際調査報告書

(84) 指定国(広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイドノート」を参照。

(57) 要約:

残留磁化による問題を回避し、低成本で異方性ボンド磁石を製造する。また、給粉しにくい形状のキャビティに対しても磁石粉末を確実に供給し、成形体の単重密度を向上させる。

プレス装置のキャビティ内に磁性粉末 (HDDR 粉末) を供給し、成形する異方性ボンド磁石の製造である。キャビティの外部に磁性粉末を配置した後、キャビティを含む空間に振動磁界（例えば交流磁界）を形成する。振動磁界の振動方向に平行な向きに磁性粉末を配向させながら、磁性粉末をキャビティの内部へ移動させる。この後、キャビティ内で磁性粉末を圧縮し、成形体（異方性ボンド磁石）を作製する。

明細書

永久磁石の製造方法およびプレス装置

技術分野

5 本発明は、永久磁石の製造方法およびプレス装置に関し、特に異方性ボンド磁石に適した永久磁石の製造方法およびプレス装置に関するものである。

背景技術

10 高性能永久磁石として代表的なR—Fe—B系希土類磁石（RはYを含む希土類元素、Feは鉄、Bはホウ素）は、三元系正方晶化合物である $R_2Fe_{14}B$ 相を主相として含む組織を有し、優れた磁石特性を発揮する。

15 このようなR—Fe—B系希土類磁石は、焼結磁石とボンド磁石とに大別される。焼結磁石は、R—Fe—B系磁石合金の微粉末（平均粒径：数 μm ）をプレス装置で圧縮成形した後、焼結することによって製造される。これに対して、ボンド磁石は、通常、R—Fe—B系磁石合金の粉末（粒径：例えば100 μm 程度）と結合樹脂との混合物（コンパウンド）をプレス装置内で圧縮成形することによって製造される。

20 焼結磁石の場合、比較的粒径の小さい粉末を用いるため、個々の粉末粒子が磁気的異方性を有している。このため、プレス装置で粉末の圧縮成形を行うとき、粉末に対して配向磁界を印加し、それによって、粉末粒子が磁界の向きに配向した成形体を作製することができる。

一方、ボンド磁石の場合は、用いる粉末粒子の粒径が单磁区臨界粒径を超えた大きさを持つため、通常、磁気的異方性を示すことがなく、各粉末粒子を磁界で配向させることはできなかった。従って、
5 粉末粒子が特定方向に配向した異方性ボンド磁石を作製するには、個々の粉末粒子が磁気的異方性を示す磁性粉末を作製する技術を確立する必要がある。

異方性ボンド磁石用の希土類合金粉末を製造するため、現在、HDDR (Hydrogenation-Disproportionation-Desorption-Recombination) 処理法が行われる。「HDDR」は、水素化 (Hydrogenation)、不均化 (Disproportionation)、脱水素化 (Desorption)、および再結合 (Recombination) を順次実行するプロセスを意味している。このHDDR処理によれば、R—Fe—B系合金のインゴットまたは粉末をH₂ガス雰囲気またはH₂ガスと不活性ガスとの混合雰囲気中で温度500°C～1000°Cに保持し、それによって、上記インゴットまたは粉末に水素を吸蔵させた後、例えばH₂分圧13Pa以下の真空雰囲気またはH₂分圧13Pa以下の不活性雰囲気になるまで温度500°C～1000°Cで脱水素処理し、次いで冷却することによって合金磁石粉末を得る。
10
15

HDDR処理を施して製造されたR—Fe—B系合金粉末は、大きな保磁力を示し、磁気的な異方性を有している。このような性質を有する理由は、金属組織が実質的に0.1～1μmの非常に微細な結晶の集合体となるためである。より詳細には、HDDR処理によって得られる極微細結晶の粒径が正方晶R₂Fe₁₄B系化合物の单磁区臨界粒径に近いために高い保磁力を発揮する。この正方晶R₂Fe₁₄B系化合物の非常に微細な結晶の集合体を「再結晶集合組織」とよぶ。HDDR処理を施すことによって、再結晶集合組織を
20
25

持つR—Fe—B系合金粉末を製造する方法は、例えば、特公平6—82575号公報および特公平7—68561号公報に開示されている。

HDDR処理によって作製された磁性粉末（以下、「HDDR粉末」と称する）を用いて異方性ボンド磁石を製造しようとすると、
5 以下のような問題が発生している。

HDDR粉末と結合樹脂との混合物（コンパウンド）を配向用磁界中でプレスして作製した成形体は、配向磁界によって強く磁化される。成形体に磁化が残留していると、成形体の表面に磁粉が吸着され、あるいは、成形体どうしが吸引衝突によって破損するなどして、その後の取り扱いに大きな支障をきたすので、成形体の磁化は、
10 成形体をプレス装置から取り出す前に充分に除去しておく必要がある。このため、磁化された成形体をプレス装置から取り出す前に、配向磁界の向きと逆向きの磁界（減磁界）や交番減衰磁界などの脱
15 磁用磁界を成形体に印加する「脱磁処理」を行う必要がある。しかし、このような脱磁処理には、通常、数十秒もの時間がかかるため、プレス工程のサイクルタイムが脱磁処理を行わない場合（等方的ボ
20 ンド磁石のサイクルタイム）に比べて2倍以上にも長くなってしまう。このようにサイクルタイムが長くなると、量産性が低下し、磁石の製造コストが増大してしまう。

なお、焼結磁石の場合は、成形体の脱磁が不充分であっても、もともと成形体に残留する磁化が小さく、また、焼結工程で磁石粉末がキュリー点以上の高温にさらされるため、着磁工程の前には完全な脱磁が行われることになる。これに対し、異方性ボンド磁石の場合は、成形体をプレス装置から取り出すときに磁化が残留していると、この残留磁化が着磁工程まで残ってしまうことになる。着磁工
25

程のとき、ボンド磁石に磁化が残留していると、磁石のヒステリシス特性のため、着磁が極めて困難になる。

本発明は、かかる諸点に鑑みてなされたものであり、その主な目的は、残留磁化による問題を回避し、低成本で着磁性に優れた永久磁石（特に異方性ボンド磁石）を製造することができる方法およびプレス装置を提供することにある。
5

本発明の他の目的は、給粉しにくい形状のキャビティに対しても磁石粉末を確実に供給し、成形体の単重密度を向上させることができる異方性ボンド磁石の製造法とプレス装置を提供することにある。

10

発明の開示

本発明による異方性ボンド磁石の製造方法は、プレス装置のキャビティ内に磁性粉末を供給し、成形する異方性ボンド磁石の製造であって、前記キャビティを含む空間に振動磁界を形成する工程と、前記磁性粉末を前記振動磁界の向きに平行な方向に配向させながら、前記磁性粉末を前記キャビティの内部へ移動させる工程と、前記キャビティ内で前記磁性粉末を圧縮し、成形体を作製する工程とを包含する。
15

好ましい実施形態において、前記振動磁界は、前記キャビティ内で前記磁性粉末を圧縮するときにも印加される。
20

好ましい実施形態においては、前記プレス装置による成形直後ににおける前記成形体の表面磁束密度が0.005テスラ以下となるように前記キャビティ内における前記振動磁界の最大値が調節されている。
25

好ましい実施形態において、前記キャビティ内における前記振動

磁界の最大値は、120 kA/m以下に調節されている。

さらに好ましい実施形態においては、前記振動磁界の最大値は100 kA/m以下、最も好ましい実施形態においては80 kA/m以下に調節されている。

5 好ましい実施形態においては、前記キャビティ内で前記磁性粉末を圧縮した後、前記成形体に対して脱磁処理を行うことなく、前記キャビティから前記成形体を取り出す。

前記振動磁界は交流磁界であっても、複数のパルス磁界を含むものであってもよい。

10 ある好ましい実施形態において、前記振動磁界の向きは、前記キャビティ内部において、プレス方向に対して垂直である。

ある好ましい実施形態において、前記振動磁界は、前記キャビティ内部において、ほぼ水平方向に向いている。

15 好ましい実施形態において、前記キャビティの開口部の水平方向サイズは、最も小さい部分で5mm以下であり、前記キャビティの深さは、最も大きい部分で10mm以上である。

好ましい実施形態において、前記磁性粉末の少なくとも一部はHDDR粉末である。

20 好ましい実施形態において、前記プレス装置は、貫通孔を有するダイと、前記貫通孔の内部において前記ダイに対して相対的に往復動作する下パンチとを備えており、前記磁性粉末を前記キャビティの内部へ移動させる工程は、前記下パンチによって前記貫通孔が塞がれた状態の前記ダイの上において、前記磁性粉末を含むフィーダボックスを前記貫通孔の上方に配置する工程と、前記ダイに対して前記下パンチを相対的に下方に移動させ、前記フィーダボックスの

下方に前記キャビティを形成する工程とを含む。

本発明によるプレス装置は、貫通孔を有するダイと、前記貫通孔の内部において前記ダイに対して相対的に往復動作し得る上パンチおよび下パンチと、前記ダイの貫通孔の内部に形成されたキャビティに磁性粉末を供給する給粉装置とを備えたプレス装置であって、更に、前記磁性粉末を前記キャビティの内部へ移動させるときに前記磁性粉末に対して振動磁界を印加する振動磁界印加装置を備えている。

好ましい実施形態において、前記振動磁界印加装置は、前記キャビティの内部に供給した前記磁性粉末を前記上パンチおよび下パンチによって圧縮するときに前記磁性粉末に対して振動磁界を印加することができる。

本発明による永久磁石は、圧縮成形によって製造された永久磁石であって、

プレス装置内の磁性粉末を振動磁界中で配向、圧縮し、脱磁処理を行うことなく前記プレス装置から取り出された時の残磁レベルが表面磁束密度で0.005テスラ以下であることを特徴とする。

本発明による異方性ボンド磁石は、磁石粉末が樹脂によって結合した異方性ボンド磁石であって、着磁のために0~800kA/mの磁界を印加した場合、前記磁界の強度増加(ΔH)に対する磁束量の増加(ΔB)の比率($\Delta B/\Delta H$)が0.025%/(kA/m)以上を示すことを特徴とする。

図面の簡単な説明

図1 (a)～(f)は、本発明の実施形態におけるプレス装置の主要部の動作を示す工程断面図である。

図2 (a)～(c)は、本発明の他の実施形態におけるプレス装置の主要部の動作を示す工程断面図である。

5 図3 (a)は、キャビティ開口部の形状を示す図であり、図3 (b)は、一対の成形体によって形成された薄肉リング状の異方性ボンド磁石を示す図である。

10 図4は、交流磁界を形成するために磁界発生用コイルに流した電流（交流電流）と、キャビティ内のピーク磁界との関係を示すグラフである。

図5は、交流ピーク磁界と成形体の重量（単重）との関係を示すグラフである。

15 図6は、成形体の単位重量あたりの磁気特性と交流ピーク磁界との関係を示すグラフである。

図7は、成形体の単位重量あたりのフラックス比と着磁磁界強度との関係を示すグラフである。

図8は、ラジアル配向リング状異方性磁石を示す斜視図である。

図9は、ラジアル配向リング状異方性磁石を製造する際に用いられるプレス装置の構成例を示す図である。

20

発明を実施するための最良の形態

本発明者は、プレス装置のキャビティ内に磁性粉末を供給するとき、磁性粉末に対して交流磁界などの振動磁界を印加すれば、その磁界強度が従来の配向用静磁界の強度に比べて1桁以上小さくとも、充分に高い配向度を持った異方性ボンド磁石が得られることを見出して、本発明を想到するにいたった。

本発明によれば、配向のために必要な磁界強度（ピーク磁界）が極めて低い値で済むため、圧縮成形直後における成形体の残留磁化を充分に低減することができ、付加的な脱磁処理を行う必要がなくなる。

なお、磁性粉末をキャビティに移動（落下）させる際、移動しつつある磁性粉末に配向磁界を印加することにより、効果的に磁性粉末を配向させる技術は、特開平2001-93712号公報や特開平2001-226701号公報に記載されている。本発明では、これらの公報に開示されている磁界に比べて格段に小さな振動磁界を用いて異方性ボンド磁石の成形を行うことにより、成形体に残留する磁化に起因する表面磁束密度の値を0.005テスラ以下に低減し、脱磁工程を不要なものとする点に大きな特徴を有している。
本発明によれば、従来のように大型の配向用磁界発生装置が不要となり、また、プレス工程のサイクルタイムを大幅に短縮することができる。

以下、図面を参照しながら、本発明による異方性ボンド磁石の製造方法の好ましい実施形態を説明する。

図1(a)～(f)は、本発明による磁石製造方法における主要工程（配向磁界中給粉→圧縮成形）を示している。図1に示すプレス装置10は、貫通孔1を有するダイ2と、貫通孔1の内部においてダイ2に対して相対的に往復動作し得る上パンチ3および下パンチ4と、ダイ2の貫通孔1の内部に形成されたキャビティに磁性粉末（コンパウンド）5を供給する給粉装置（フィーダボックス）6とを備えている。また、プレス装置10は、磁性粉末5をキャビティの内部へ移動させるとき、磁性粉末5に対して弱い振動磁界H（ピーク磁界が例えば120kA/m以下、好ましくは100kA

/m以下、最も好ましくは80 kA/m以下の交流磁界)を印加する振動磁界印加装置(不図示)を備えている。

以下、図1の装置を用いて、異方性ボンド磁石を製造する方法を説明する。

5 まず、前述したHDDR粉末とバインダ(結合樹脂)との混合物(コンパウンド)5を用意し、このコンパウンド5をフィーダボックス6内に充填する(図1(a))。この後、図1(b)に示すように、フィーダボックス6をプレス装置10のダイ2の上に移動させる。より具体的には、ダイ2においてキャビティが形成される部分の真上にフィーダボックス6を配置させる。このとき、本実施形態では、ダイ2の上面と下パンチ4の上面とを等しいレベルに位置させているため、キャビティ空間は形成されていない。

10 次に、図1(c)および(d)に示すように、磁界の向きが交番する振動磁界(交流磁界)Hを印加しながら下パンチ4をダイ2に対して下降させる。この下パンチ4の下降に伴って、フィーダボックス6の下方にキャビティが形成され、キャビティが大きくなってゆく。フィーダボックス6のコンパウンド5は、下パンチ4の下降に従って大きくなるキャビティの内部へ吸い込まれるようにして充填される。

15 このようにしてキャビティへの粉末充填が行われるとき、コンパウンド5を構成する粉末粒子は、交流磁界中で効果的に配向させられる。これは、キャビティ内に移動する粉末粒子の充填密度が低下し、個々の粉末粒子が比較的容易に回転できるようになるためと考えられる。

20 本発明で採用する交流磁界の印加は、静磁界の印加に比べ、給粉中における粉末粒子の配向に対して更に有効に寄与する。すなわち、

静磁界を印加した場合には、キャビティの内壁面間を粉末粒子が架橋状態に連結し、キャビティを部分的に塞いでしまうため、均一な粉末充填が達成できないが、交流磁界を印加した場合は、磁界の向きが変化するときに磁界強度がゼロとなるため、上記粉末粒子の磁気的架橋状態が壊れ、粉末充填が均一かつ速やかに進行することになる。
5

本実施形態で用いる交流磁界の周波数は、10Hz以上であることが好ましく、30Hz以上であることが更に好ましい。印加する交流磁界の周波数が高くなるほど、磁気特性が良くなる傾向があるが、交流磁界の周波数が高くなりすぎると、プレス装置のダイがうず電流によって発熱し、また、磁気特性も飽和するため、交流磁界の周波数は、60Hz以上120Hz以下の範囲内に設定することが好ましい。
10
15

なお、交流磁界の印加に代えて、一定方向の磁界を形成し、その磁界強度をパルス的に変化させても、キャビティを塞ぐ粉末の架橋を壊すことができる。本発明にとって重要な点は、配向磁界の印加によってキャビティ内に形成された粉末の架橋を壊すために、配向磁界の強度を断続的にゼロまたは充分に小さいレベルに低下されることにある。このため、交流的に磁界の向きを反転させることは不可欠ではない。
20

なお、パルス的に振動する配向磁界（パルス磁界）を印加する場合、印加する磁界の最も低いレベルはゼロにする必要はなく、粉末粒子の磁気的な架橋を壊すことができる程度（例えば8kA/m以下）に小さくすれば良い。

25 このように、本発明では、ある所定のレベルよりも大きな磁界強度（配向磁界の「ON」レベル）と、そのレベルよりも小さく、磁

5 気的架橋を壊すレベルの磁界強度（配向磁界の「OFF」レベル。）との間で振動する磁界を印加しながら、HDDR粉末のコンパウンドをキャビティ内に供給する。このため、従来の方法によつては給粉しにくい形状のキャビティに対しても、スムーズかつ均一にコンパウンドを充填することができ、成形体の単重を増加させることが可能になる。

10 次に、図1(e)に示すように、フィーダボックス6をキャビティの上方から退避位置へ移動させた後、図1(f)に示すように、上パンチ3を下降させ、キャビティ内のコンパウンド5を圧縮成形し、成形体7を作製する。

15 本発明によれば、弱い磁界でも充分に高い配向度を達成できるため、従来に比べて配向磁界の大きさ（最大値）を格段に低減することができる。このため、配向磁界中で圧縮成形した直後における成形体の磁化（残留磁化）を従来よりも1桁以上低くすることが可能である。その結果、給粉完了後に高磁界で配向を行う従来技術で必要とされた動作、例えば、粉末の配向を容易にするために一旦キャビティ内の粉末上部に僅かな空間を形成する動作や、その状態で配向した後、引き続き粉末を加圧・圧縮して成形体とする動作などが必要となるとともに、成形体7に対する脱磁処理が不要になる。このため、本発明によれば、プレス工程のサイクルタイムを、等方性磁石の場合のサイクルタイムと同程度（従来の異方性ボンド磁石の場合のサイクルタイムの半分以下）に短縮することが可能になる。

20 なお、上パンチ3と下パンチ4とによってコンパウンド5を圧縮するときに、配向磁界を印加してもよい。これは、圧縮成形時に配向の乱れが生じる場合があるため、圧縮成形に際しても配向磁界を印加して、配向を適切に維持するためである。圧縮成形時に印加す

るは磁界の強度は、給粉時の磁界強度と同レベルか、あるいは、給粉時の磁界強度よりも小さくしても良い。あくまでも配向の乱れを防止できれば良いからである。このため、圧縮成形時に印加する配向磁界は、上述した振動磁界である必要もない。従って、給粉時は振動磁界を印加し、圧縮成形時には静磁界を印加するようにしてもよい。ただし、工程を単純化するためには、給粉時に印加していた振動磁界を、そのまま継続的に圧縮成形時に印加することが好ましい。なぜなら、継続的に振動磁界を印加する場合は、プレス装置の各部の動作と磁界印加のタイミングとを細かく調節する必要がないからである。

本実施形態では、フィーダボックス6をキャビティが形成される部分の真上に移動させてからキャビティ空間を形成しているが、本発明は、このような給粉形態に限定されない。例えば、図2(a)から(c)に示すようようにして、予めキャビティが形成されている部分の真上にフィーダボックス6を移動させ、フィーダボックス6の中からコンパウンド5をキャビティ内に落とし込むようにしてもよい。この場合、キャビティ上にフィーダボックス6を配置する前に、キャビティを含む空間に対して配向磁界(振動磁界)の印加を開始する。こうすることにより、コンパウンド5がフィーダボックス6からキャビティ内へ落下する途中において、小さな振動磁界によって適確に配向させられる。

以上説明してきた本発明の実施形態では、印加する振動磁界の向きは水平方向であり、プレス方向(1軸圧縮方向)に対して垂直である。このため、キャビティに充填された粉末粒子は水平横方向に配向する。粉末粒子は磁気的相互作用のため水平横方向に沿って鎖状に連なる。充填粉末の上面に位置する粉末粒子も水平方向に連な

る結果、粉末はキャビティの外側にはみだすことなく、キャビティ内に完全に収まりやすい。

なお、プレス装置のキャビティ中心軸が鉛直方向に対して傾斜していても良いし、配向磁界の向きが水平方向に対して傾斜していてもよい。これらの配置構成は、どのような形状のボンド磁石を作製するかに依存して適切に設計され得る。
5

また、本発明によって図8に示すようなラジアル配向したリング状異方性磁石11を得ることができる。このようなラジアル配向したリング状異方性磁石11は、例えば、図9の構成を有するプレス装置を用いて作製される。
10

図9のプレス装置では、強磁性体材料から形成されたダイ2の中央部に貫通孔が設けられており、その貫通孔内の中心部に強磁性体材料から形成された円柱状のコア8が配置されている。キャビティは、ダイ貫通孔の内壁とコア8の外周面との間に形成され、キャビティの底面は、非磁性体材料からなる下パンチ4の上面によって規定される。
15

図9のプレス装置では、コア8の下部に振動磁界印加用の励磁コイル9が配置されおり、励磁コイル9に、例えば交流電流を印加することにより、所定強度の振動磁界からなるラジアル配向磁界をキャビティ内に形成することができる。この状態において、キャビティ内にコンパウンドを充填すれば、目的とする配向を達成できる。
20

図9においては、コア8の周囲に励磁コイル9を配置した構成が示されているが、本発明は、これに限定されず、コア8の上方に不図示の上部コアを配置し、その上部コアの周囲にも励磁コイルを配置してもよい。
25

本発明者の実験によれば、上下にコアおよび励磁コイルを配置し

た構成の方が、一方にコアおよび励磁コイルを配置した構成に比べて、成形体の磁気特性を若干向上させられることがわかった。しかし、上コアの周囲に励磁コイルを配置したプレス装置を用いる場合は、上コアによる粉末粒子の吸引等によって作業性が低下し、またプレス装置の構成が複雑になるなどの問題があるため、図9に示すように下コアの周囲のみに励磁コイルを配置する方が好ましい。
5

<実施例>

以下、本発明の実施例を説明する。

まず、本実施例では、27.5重量%のNd-1.07重量%の
10 B-14.7重量%のCo-O.2重量%のCu-O.3重量%の
Ga-O.15重量%のZr-残部Feを含有するNd-Fe-B
系希土類合金のHDDR粉末を用意した。具体的には、まず、上記
組成を有する希土類合金原料をAr雰囲気中で1130°C 15時間
の条件で熱処理した後、水素吸蔵による崩壊・整粒を行った。その後、HDDR処理を行うことより、磁気的異方性を有するHDDR
15 粉末を作製した。粉末の平均粒径（レーザ回折法によって測定した
値）は、120 μm程度であった。

上記HDDR粉末に対して、ビルフェノールA型エポキシ樹脂の
20 バインダ（結合樹脂）を60度に加熱しつつニ軸ニーダを用いて混
ぜ合わせることにより、HDDRコンパウンドを作製した。バイン
ダの重量比率は、全体の2.5%程度とした。

このHDDRコンパウンドを図1に示すようなプレス装置を用い、
25 60Hzの交流磁界中で圧縮成形した。プレス装置のダイキャビティ
の開口面（ダイ上面）での形状（プレス方向に垂直なキャビティ
の断面形状）は、図3(a)に示す弓形であり、キャビティのサイ
ズは外周側半径R1が19.7mm、内周側半径R2が16mm、

深さが30.65mmであった。キャビティには、粉末高さ（充填深さ）が30.65mmになるように上記コンパウンドを充填した。このようなキャビティで作製した成形体のサイズは、外周側半径19.7mm×内周側半径16mm×高さ19mmであり、得られた2つの成形体を図3(b)に示すように組み合わせることにより、ほぼラジアル配向した薄肉リング状の異方性ボンド磁石が得られる。

交流磁界を形成するためにプレス装置の磁界発生用コイルに流した電流（交流電流）と、キャビティの中心部におけるピーク磁界との関係を図4に示す。図4からわかるように、キャビティ内に形成される交流磁界のピーク値は、磁界発生用コイルに投入する交流電流の大きさが増加するに従って線形的に増加する。従って、コイルに流す交流電流を調節することによって粉末に印加する交流磁界のピーク値を制御することができる。なお、グラフ縦軸の磁界強度の単位はOe（エルステッド）であり、この数値を $10^3/(4\pi)$ 倍した値がSI単位における磁界強度となる。 $10^3/(4\pi)$ は約80であるので、例えば、2000eは、SI単位系で約16kA/mとなる。

キャビティ内に形成した交流磁界の向きは、プレス方向（上パンチ／下パンチの動作方向）に対して垂直であった。図4のグラフによれば、印加する交流電流が0A（アンペア）のときでも、キャビティ内に磁界が形成されているが、これは、実験に用いたダイを構成している強磁性体部品が弱く磁化されていたためである。このような残留磁化がダイ部品中に存在していた場合、コイルの形成する交流磁界の振幅中心がゼロレベルからシフトするが、特に問題はない。むしろ、上記のような残留磁化が存在していると、磁界発生用コイルに投じる電力が少ない場合でも、配向に必要な交流ピーク磁

界を得ることができるため、好ましいといえる。

図5は、交流ピーク磁界と成形体の重量（単重）との関係を示している。図5からわかるように、交流ピーク磁界が強くなるほど、成形体の単重が低下している。粉末充填がスムーズに進むほど、単重は大きくなる。このため、交流ピーク磁界を大きくし過ぎると、粉末を充填しにくくなると考えられる。また、交流磁界を印加する場合は、プレス装置を構成するダイなどの発熱を招くため、必要以上に交流ピーク磁界を強くすると、生産性および磁石品質などの観点からダイなどの冷却が必要となる。交流ピーク磁界の大きさは、目的とする成形体の形状、寸法、磁性粉末の磁気特性、配向方向（ラジアル配向又は直角配向等）などに応じて選定することが望まれる。

交流ピーク磁界が強くなりすぎると、プレス装置による成形直後における成形体の表面磁束密度（残磁）も大きくなり、本願発明の本来の目的を達成できなくなるだけでなく、上記の粉末充填およびダイの発熱などの問題も生じ得る。これらの観点から、交流ピーク磁界は、最大でも 120 kA/m （約 1500 Oe ）、好ましくは 100 kA/m （約 1260 Oe ）以下、さらに好ましくは 80 kA/m （約 1000 Oe ）以下、あるいは 50 kA/m （約 630 Oe ）以下の条件から選定される。

本実施例で作製するボンド磁石の場合、後述する図6から明らかのように、 3000 Oe （約 24 kA/m ）近傍で目的とする磁気特性を得ることができるために、粉末充填を阻害するに至らない磁界強度で目的の所定単重を有する磁石を得ることができる。具体的には、交流ピーク磁界が 4500 Oe （＝約 36 kA/m ）以下であれば、

充分なレベルの成形体単重が達成されることになる。交流ピーク磁界の好ましい範囲は、 24 kA/m 以上 36 kA/m 以下であり、更に好ましい範囲は 24 kA/m 以上 32 kA/m 以下である。

なお、図5のグラフ中には、参考のため、比較的弱い「静磁界」を印加しながら配向を行った比較例1および比較例2の成形体単重を示している。比較例1では給粉時および成形時における静磁界の強度が 600 e であり、比較例2では静磁界の強度が 1500 e である。比較例1および2と実施例と比べると、同じ磁界強度では静磁界よりも交流磁界を印加した場合の方が大きな成形体単重が得られることがわかる。更に、実施例の方が比較例に比べて、プレス工程ごとに単重ばらつきも少なかった。これらのこととは、静的な磁界を印加するよりも、交流磁界を印加する方が給粉をスムーズに行えることを意味している。従って、本発明は、給粉が困難なキャビティ（例えば、開口部の最小サイズに対する深さの比率が例えば1以上のアスペクト比を示すキャビティ）を用いて異方性ボンド磁石を作製する場合に特に好適である。

図6は、成形体の単位重量あたりの磁気特性と交流ピーク磁界との関係を示している。図6におけるグラフの縦軸は、比較例3（ 10 kOe の強い静磁界を印加して配向させた成形体）のフラックス（磁束量）に対する実施例のフラックスの比を示している。図6からわかるように、交流ピーク磁界が 3000 e 以上になると、実施例のフラックスは、比較例3のフラックスと同等のレベルに達し、ほぼ飽和している。

次に、交流ピーク磁界が 4200 e （＝約 33.6 kA/m ）の場合に得られた実施例について、プレス直後における（脱磁処理を行わない場合の）成形体の表面磁束密度（残磁）を測定したところ、

5

その値は10ガウス(=0.001テスラ)以下であった。成形体に対する脱磁処理を省略するには、成形直後における残磁を50ガウス(=0.005テスラ)以下に抑えることが好ましい。本実施例によれば、配向磁界の強度が従来に比べて充分に小さいため、磁界配向を行った後の成形体には50ガウスを下回る低い磁化が残るに過ぎず、脱磁処理が不要となった。なお、このようにして得られた異方性ボンド磁石の着磁性は良好であった。

10

従来の給粉後に強い静磁界(例えば10kOe程度の静磁界)を印加し、圧縮成形を行った場合(比較例3)、成形体の残留磁化は2000ガウス(0.2テスラ)にも達し、脱磁処理が不可欠であった。

15

図7は、本発明の実施例と比較例について、成形体の単位重量あたりのフラックス比と着磁磁界強度との関係、すなわち着磁特性曲線を示すグラフである。グラフ中、「●」は本発明の実施例に関するデータポイントを示す、「×」は比較例のデータポイントを示している。実施例は、磁界ピークが4000eの交流磁界を印加しながら、給粉・成形工程を行った試料であり、脱磁処理は施さなかった。一方、比較例は、配向磁界として12kOeの静磁界を印加し、成形工程後に脱時処理(交流磁界印加)を施した試料である。

20

25

図7の着磁特性曲線からわかるように、着磁磁界強度が0~10kOeの領域において、実施例では着磁磁界強度の増加(ΔH)に対する磁束量の増加(ΔB)の比率($\Delta B / \Delta H$)が比較例よりも大きい。具体的には、着磁磁界強度が40kOeのときの磁束量を100%とした場合、磁界強度が0~10kOeの範囲における実施例の $\Delta B / \Delta H$ は2%/kOe以上であり、比較例よりも格段に磁化されやすかった。なお、10kOeは約800kA/mであり、

2%/ kOe は約0.025%/(kA/m)である。従って、本発明によれば、0 kA/m 以上800 kA/m 以下の磁界によって0.025%/(kA/m)以上の $\Delta B/\Delta H$ が達成される。

なお、上記実施例では、HDDRの粉末を用いて異方性ボンド磁石を作製したが、本発明はこれに限定されず、他のタイプの粉末であっても磁気的異方性を發揮する粉末であれば用いることができる。また、HDDR粉末と他の異方性粉末とを混合した粉末を用いてボンド磁石を作製しても良い。

更に、プレス装置のダイキャビティの形状も上記実施例で用いた形状に限定されず、任意である。ただし、本発明は給粉の困難な形状（例えば、開口部の水平方向サイズが最も小さい部分で5mm以下、深さが最も大きい部分で10mm以上となるような形状）のキャビティに給粉する場合などに特に顕著な効果を發揮し得る。

次に、図8に示すラジアル配向リング状異方性磁石を、図9に示す構成のプレス装置を用いて作製した。得られた磁石のサイズは、外径25mm、内径23mm、高さ4.8mmであった。磁性粉末は、前記と同一組成、同一方法で作成されたHDDRコンパウンドを使用した。

交流ピーク磁界を80 kA/m （約10000 e ）、40 kA/m （約5000 e ）、24 kA/m （約3000 e ）とした場合の成形体の磁気特性（単位重量あたりの磁束量）と、プレス直後における（脱磁処理を行わない場合の）成形体の表面磁束密度（残磁）を測定した。

その結果、交流ピーク磁界の大きさによる磁気特性の差異は、約0.5%程度と小さかった。残磁は、いずれの成形体についても、0.0007テスラ（7ガウス）以下であったが、特に交流ピーク

磁界が24 kA/mの場合の残磁は0.0005テスラ(5ガウス)以下となり、脱磁処理が不要となるばかりでなく、着磁性も極めて良好であることを確認した。

5

産業上の利用可能性

10

本発明によれば、振動磁界を給粉時に印加するため、磁性粉末をキャビティ内へスムーズに充填しながら、磁性粉末を配向磁界の向きに配向させることができる。このため、印加する磁界の強度が小さくとも、粉末充填時点において充分な程度の磁界配向を実現できる。従って、本発明では、圧縮成形後に成形体に残留する磁化を大幅に低減でき、その結果として脱磁処理を省略することが可能となる。このため、本発明によれば、残留磁化に起因する種々の問題を回避しつつ、プレス工程のサイクルタイムを低減し、特性に優れた異方性ボンド磁石を低成本で製造することができる。

15

更に本発明によれば、給粉時に印加する配向磁界が振動磁界であるため、給粉しにくい形状のキャビティに対しても磁性粉末を確実に供給することができ、成形体の単重ばらつきを低減することができる。このため、複雑な形状を持つ小型の異方性ボンド磁石をも歩留まり良く生産できる。

20

請求の範囲

1. プレス装置のキャビティ内に磁性粉末を供給し、成形する永久磁石の製造であって、

5 前記キャビティを含む空間に振動磁界を形成する工程と、

前記磁性粉末を前記振動磁界の向きに平行な方向に配向させながら、前記磁性粉末を前記キャビティの内部へ移動させる工程と、

前記キャビティ内で前記磁性粉末を圧縮し、成形体を作製する工程と、

10 を包含する永久磁石の製造方法。

2. 前記振動磁界は、前記キャビティ内で前記磁性粉末を圧縮するときにも印加される請求項1に記載の永久磁石の製造方法。

15 3. 前記プレス装置による成形直後における前記成形体の表面磁束密度が0.005テスラ以下となるように前記キャビティ内における前記振動磁界の最大値が調節されている請求項1または2に記載の永久磁石の製造方法。

20 4. 前記キャビティ内における前記振動磁界の最大値は、120kA/m以下に調節されている請求項3に記載の永久磁石の製造方法。

25 5. 前記キャビティ内における前記振動磁界の最大値は、100kA/m以下に調節されている請求項3に記載の永久磁石の製造

方法。

6. 前記キャビティ内における前記振動磁界の最大値は、⁵ 80 k A/m以下に調節されている請求項3に記載の永久磁石の製造方法。

7. 前記キャビティ内で前記磁性粉末を圧縮した後、前記成形体に対して脱磁処理を行うことなく、前記キャビティから前記成形体を取り出す請求項3に記載の永久磁石の製造方法。¹⁰

8. 前記振動磁界は交流磁界である請求項1から7のいずれかに記載の永久磁石の製造方法。

9. 前記振動磁界は複数のパルス磁界を含む請求項1から7の¹⁵いずれかに記載の永久磁石の製造方法。

10. 前記キャビティの開口部の水平方向サイズは、最も小²⁰さい部分で5 mm以下であり、

前記キャビティの深さは、最も大きい部分で10 mm以上である請求項1から9のいずれかに記載の永久磁石の製造方法。

11. 前記磁性粉末の少なくとも一部はHDDR粉末である請²⁵求項1から10のいずれかに記載の永久磁石の製造方法。

12. 前記プレス装置は、貫通孔を有するダイと、前記貫通孔

の内部において前記ダイに対して相対的に往復動作する下パンチとを備えており、

前記磁性粉末を前記キャビティの内部へ移動させる工程は、

5 前記下パンチによって前記貫通孔が塞がれた状態の前記ダイの上において、前記磁性粉末を含むフィーダボックスを前記貫通孔の上方に配置する工程と、

前記ダイに対して前記下パンチを相対的に下方に移動させ、前記フィーダボックスの下方に前記キャビティを形成する工程と、
を含む、請求項1から11のいずれかに記載の永久磁石の製造方法。

10

13. 貫通孔を有するダイと、

前記貫通孔の内部において前記ダイに対して相対的に往復動作し得る上パンチおよび下パンチと、

15 前記ダイの貫通孔の内部に形成されたキャビティに磁性粉末を供給する給粉装置と、

を備えたプレス装置であって、更に、

前記磁性粉末を前記キャビティの内部へ移動させるときに前記磁性粉末に対して振動磁界を印加する振動磁界印加装置を備えているプレス装置。

20

14. 前記振動磁界印加装置は、前記キャビティの内部に供給した前記磁性粉末を前記上パンチおよび下パンチによって圧縮するときに前記磁性粉末に対して振動磁界を印加することができる、請求項13に記載のプレス装置。

25

15. 圧縮成形によって製造された永久磁石であって、

プレス装置内の磁性粉末を振動磁界中で配向、圧縮し、脱磁処理を行うことなく前記プレス装置から取り出された時の残磁レベルが表面磁束密度で0.005テスラ以下であることを特徴とする永久磁石。

5

16. 磁石粉末が樹脂によって結合した異方性ボンド磁石であって、

10 蓄磁のために0~800kA/mの磁界を印加した場合、前記磁界の強度増加(ΔH)に対する磁束量の増加(ΔB)の比率($\Delta B / \Delta H$)が0.025%/(kA/m)以上を示すことを特徴とする異方性ボンド磁石。

図1

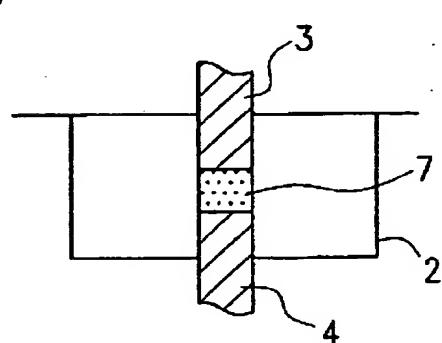
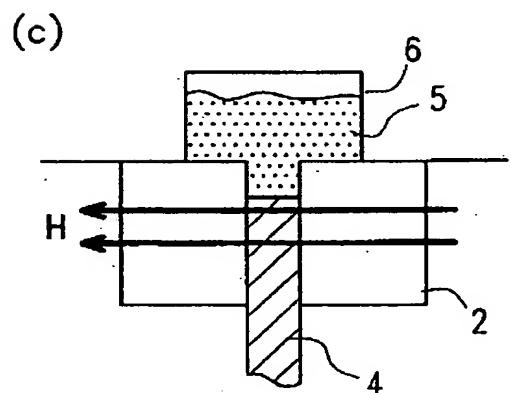
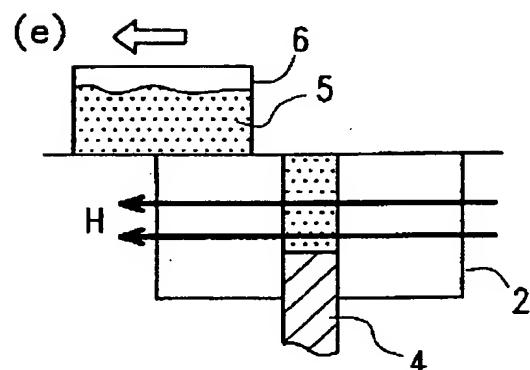
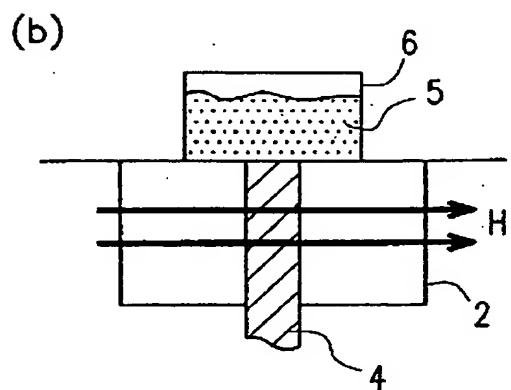
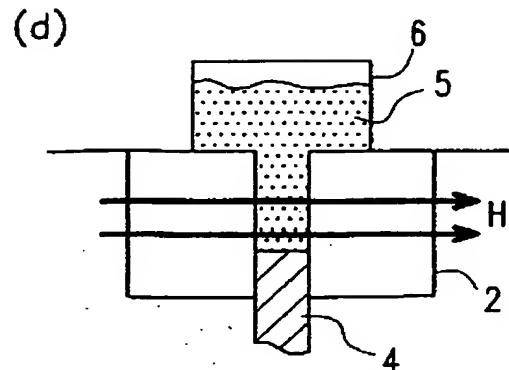
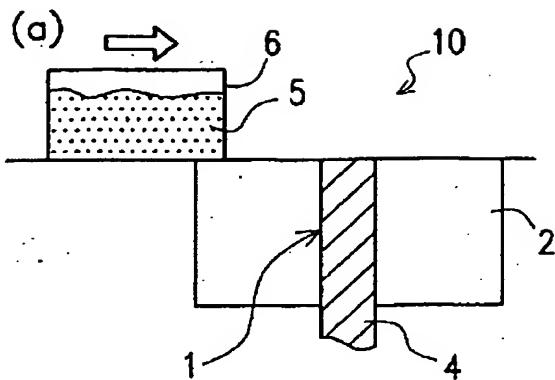


図2

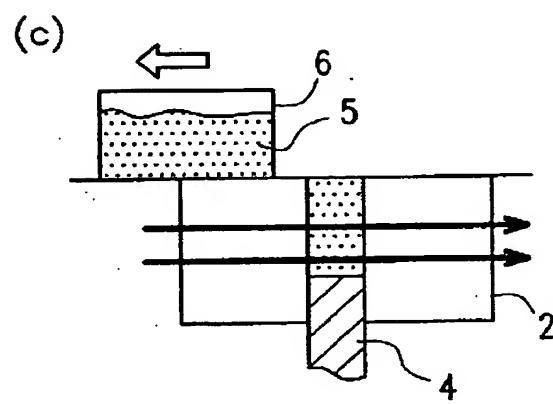
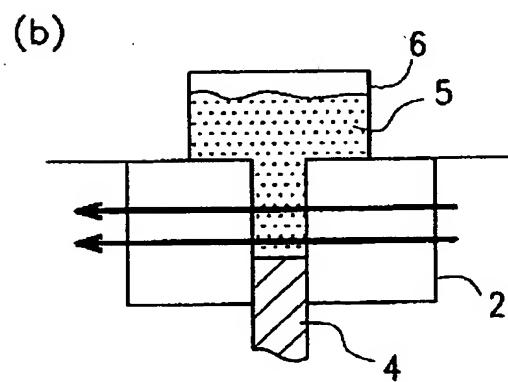
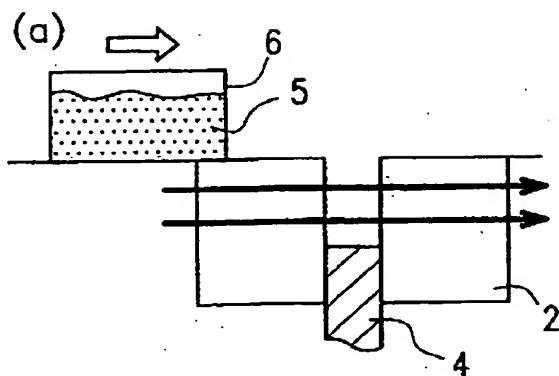
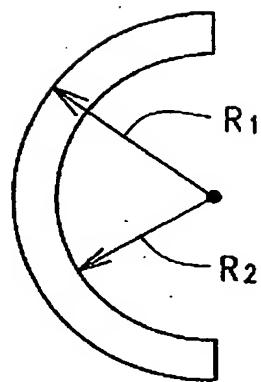


図3

(a)



(b)

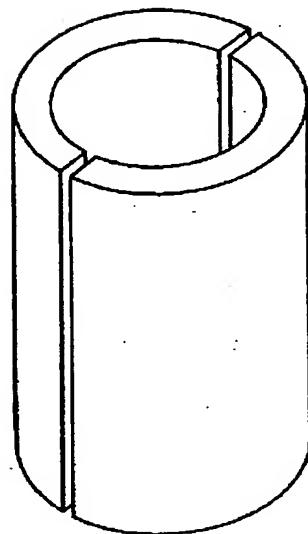


図4

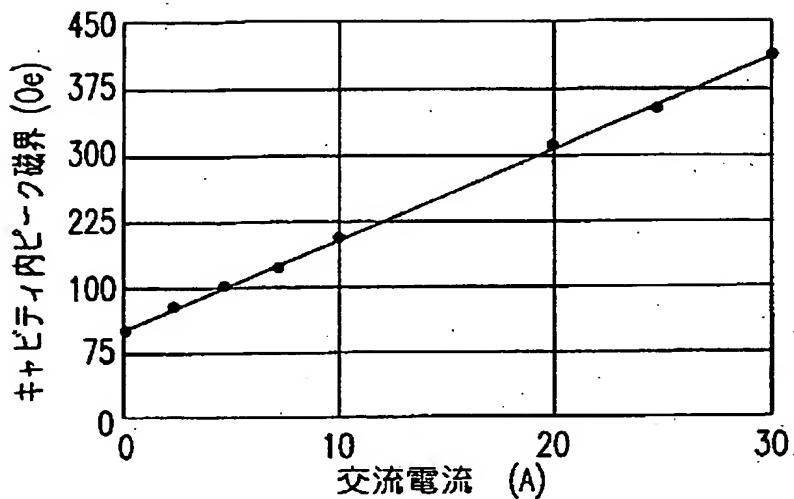


図5

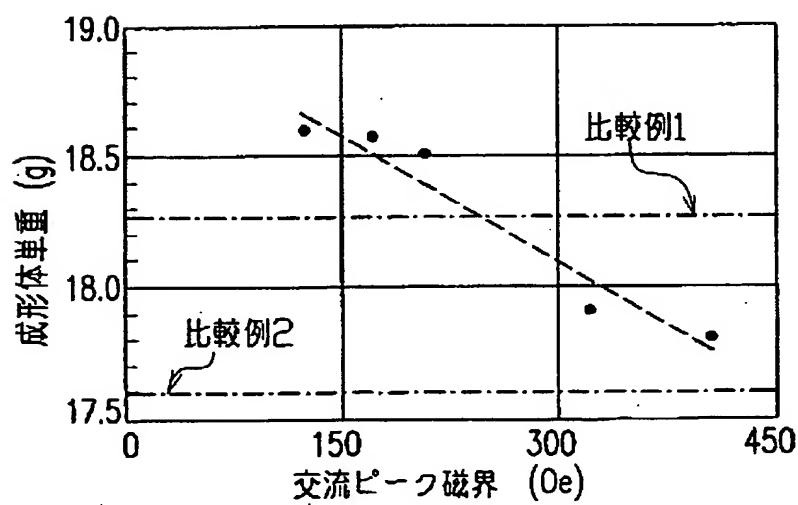


図6

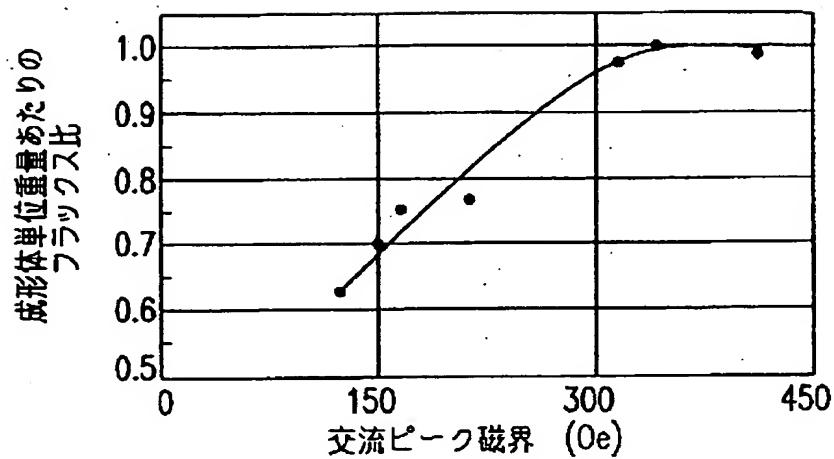


図7

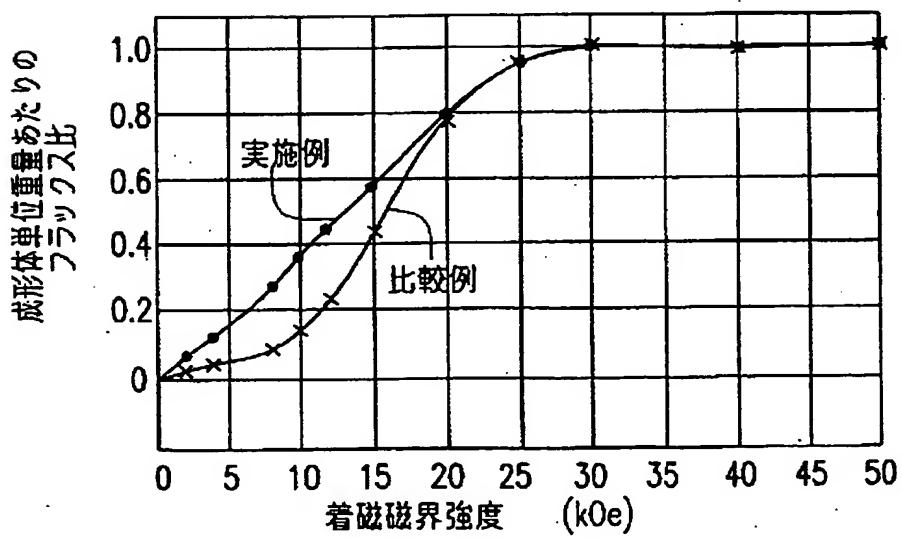


図8

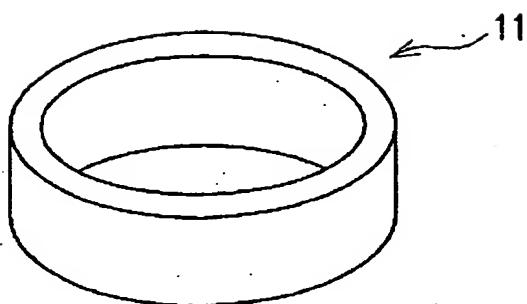
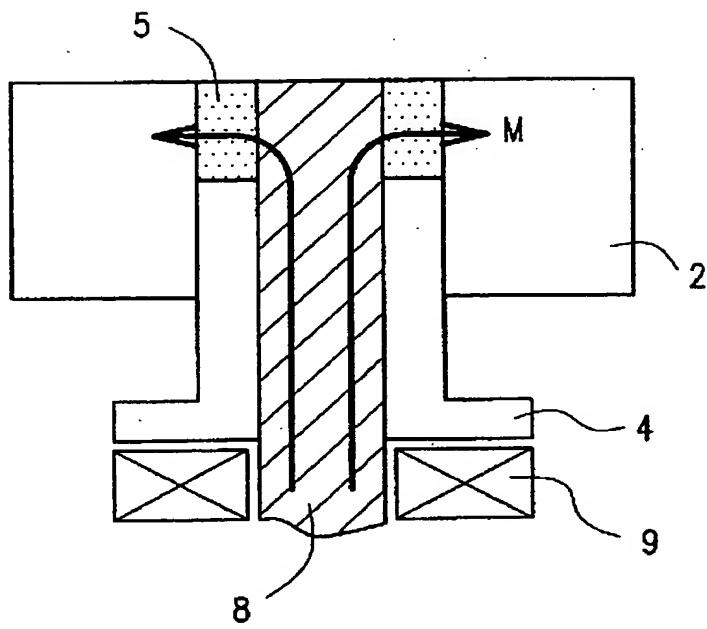


図9



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/10861

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ H01F41/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H01F41/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

| | | | |
|---------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| Jitsuyo Shinan Koho | 1926-1996 | Jitsuyo Shinan Toroku Koho | 1996-2002 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2002 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2002 |

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|--|-----------------------|
| A | JP 11-195548 A (Mitsubishi Materials Corp.), 21 July, 1999 (21.07.99), (Family: none) | 1-16 |
| A | JP 2000-182867 A (Sumitomo Special Metals Co., Ltd.), 30 June, 2000 (30.06.00), (Family: none) | 1-16 |

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

- * Special categories of cited documents:
- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
21 January, 2003 (21.01.03)Date of mailing of the international search report
04 February, 2003 (04.02.03)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.:

Telephone No.:

A. 発明の属する分野の分類(国際特許分類(IPC))

Int. Cl. H01F 41/02

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料(国際特許分類(IPC))

Int. Cl. H01F 41/02

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926年-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971年-2002年
 日本国実用新案登録公報 1996年-2002年
 日本国登録実用新案公報 1994年-2002年

国際調査で使用した電子データベース(データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示 | 関連する 請求の範囲の番号 |
|-----------------|---|------------------|
| A | JP 11-195548 A (三菱マテリアル株式会社) 1999. 07. 21 (ファミリーなし) | 1-16 |
| A | JP 2000-182867 A (住友特殊金属株式会社) 2000. 06. 30 (ファミリーなし) | 1-16 |

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

- 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
- 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
- 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献(理由を付す)
- 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
- 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

- 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理髣の理解のために引用するもの
- 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
- 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
- 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

21. 01. 03

国際調査報告の発送日

04.02.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官(権限のある職員)

田中 貞嗣

5R 4231

電話番号 03-3581-1101 内線 3520